

527158  
Rec'd PCT/PTO 09 MAR 2005

(12) NACH DEM VERTRÄG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES  
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

10/527158

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum  
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum  
1. April 2004 (01.04.2004)

PCT

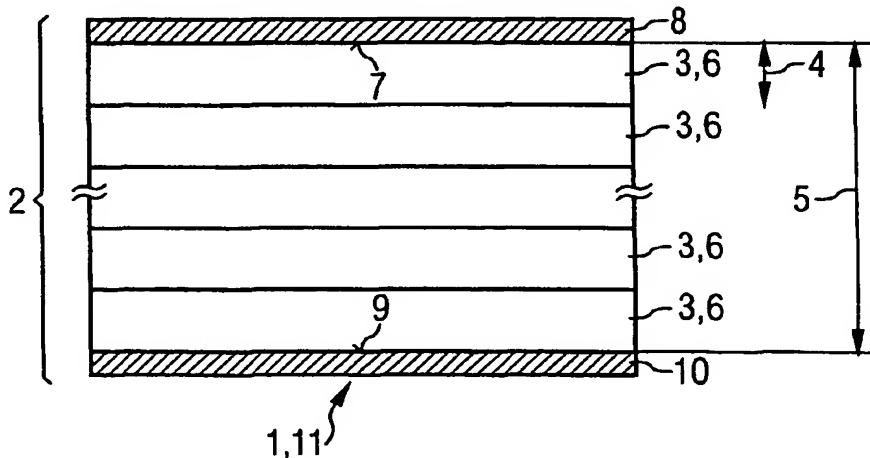
(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
WO 2004/027888 A1

- (51) Internationale Patentklassifikation<sup>7</sup>: H01L 41/24, C04B 35/491
- (72) Erfinder; und
- (75) Erfinder/Anmelder (*nur für US*): LUBITZ, Karl [DE/DE]; Röntgenstr. 20, 85521 Ottobrunn (DE). SCHUH, Carsten [DE/DE]; Heideweg 9, 85598 Baldham (DE).
- (21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE2003/002776
- (22) Internationales Anmelde datum:  
20. August 2003 (20.08.2003)
- (74) Gemeinsamer Vertreter: SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT; Postfach 22 16 34, 80506 München (DE).
- (25) Einreichungssprache: Deutsch
- (26) Veröffentlichungssprache: Deutsch
- (81) Bestimmungsstaaten (*national*): JP, US.
- (30) Angaben zur Priorität:  
102 41 731.8 11. September 2002 (11.09.2002) DE
- (84) Bestimmungsstaaten (*regional*): europäisches Patent (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK, TR).
- (71) Anmelder (*für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US*): SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT [DE/DE]; Wittelsbacherplatz 2, 80333 München (DE).
- Veröffentlicht:  
— mit internationalem Recherchenbericht

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: CERAMIC ELEMENT COMPRISING A HOMOGENEOUS CERAMIC LAYER, AND METHOD FOR THE PRODUCTION OF SAID CERAMIC ELEMENT

(54) Bezeichnung: KERAMISCHER KÖRPER MIT EINER HOMOGENEN KERAMIKSCHICHT UND VERFAHREN ZUM HERSTELLEN DES KERAMISCHEN KÖRPERS



WO 2004/027888 A1

(57) Abstract: The invention relates to a ceramic element (1) comprising at least one substantially homogeneous ceramic layer (2) which is provided with a plurality of superimposed partial ceramic layers (4). Said ceramic element can be produced by stacking partial homogeneous ceramic layers on top of each other in the form of ceramic green films, removing the binding agent, and sintering, for example. The inventive ceramic element can be compacted at a lower sintering temperature than conventional block sinters. Moreover, the ceramic layer of the ceramic element is provided with a low number of pores, enclosures, foreign phases, and other flaws and is highly homogeneous. The ceramic element particularly represents a piezoelectric bending transducer (12) or a piezoelectric transformer (11). Advantageously, said bending transducer or transformer comprises electrodes (8) so as to be electrically triggered, the electrodes (8) being buried underneath another ceramic layer (13). The additional ceramic layer and/or the electrode layer are used as a diffusion barrier. The homogeneous ceramic layer does not become poor in highly volatile components during sintering while moisture is prevented from diffusing into the homogeneous ceramic layer during use in a humid environment.

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]



- vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche geltenden Frist; Veröffentlichung wird wiederholt, falls Änderungen eintreffen
- Zur Erklärung der Zweiibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

---

(57) **Zusammenfassung:** Die Erfindung betrifft einen keramischen Körper (1) mit mindestens einer im Wesentlichen homogenen Keramiksicht (2). Die homogene Keramiksicht (2) weist eine Vielzahl von übereinander angeordneten homogenen Keramikteilsichten (4) auf. Zum Herstellen des keramischen Körpers werden beispielweise homogene Keramikteilsichten in Form von keramischen Grünfolien übereinander gestapelt, entbindert und gesintert. Der keramische Körper kann im Vergleich zu einem üblichen Blocksintern bei einer niedrigeren Sintertemperatur verdichtet werden. Die Keramiksicht des keramischen Körpers weist darüber hinaus eine geringe Anzahl an Poren, Einschlüssen, Fremdphasen und anderen Defekten auf und verfügt über eine hohe Homogenität. Der keramische Körper ist insbesondere ein piezoelektrischer Biegewandler (12) oder ein piezoelektrischer Transformatorm (11). Vorteilhaft weisen der Biegewandler oder der Transformator zur elektrischen Ansteuerung Elektroden (8) auf, die unter einer weiteren Keramiksicht (13) vergraben sind. Die weitere Keramiksicht und/oder die Elektrodenschicht dienen als Diffusionsbarriere. Beim Sintern verarmt die homogene Keramiksicht nicht an leicht flüchtigen Bestandteilen und bei einem Einsatz in feuchter Umgebung wird die Diffusion von Feuchtigkeit in die homogene Keramiksicht unterbunden.

**Beschreibung****Keramischer Körper mit einer homogenen Keramiksicht und Verfahren zum Herstellen des keramischen Körpers**

Die Erfindung betrifft einen keramischen Körper mit mindestens einer im Wesentlichen homogenen Keramiksicht. Daneben wird ein Verfahren zum Herstellen des keramischen Körpers angegeben.

Ein keramischer Körper der genannten Art und ein Verfahren zu dessen Herstellung sind aus US 6 260 248 B1 bekannt. Der keramische Körper ist ein Piezoaktor in Vielschichtbauweise. Der Piezoaktor besteht aus einer Vielzahl übereinander angeordneter Keramiksichten mit einem keramischen Material aus dotiertem Bleizirkonattitanat  $Pb(Zr,Ti)O_3$ . Zwischen zwei Keramiksichten ist jeweils eine als Innenelektrode bezeichnete Elektrodenschicht aus einer Silber-Palladium-Legierung angeordnet.

Zum Herstellen des Piezoaktors wird eine Vielzahl von mit der Legierung bedruckten keramischen Grünfolien übereinander zu einem Stapel angeordnet. Die keramischen Grünfolien bestehen aus einer Grünkeramik. Die Grünkeramik ist eine noch nicht verdichtete Keramik und besteht aus pulverförmigem Bleizirkonattitanat und einem organischen Binder. Eine Schichtdicke der Grünfolie beträgt beispielsweise 100  $\mu m$ .

Der Stapel aus bedruckten Grünfolien wird verfestigt. Dazu wird der Stapel laminiert und nachfolgend einer Wärmebehandlung unterzogen. Die Wärmebehandlung umfasst ein Entbindern der keramischen Grünfolien und ein nachfolgendes Sintern. Es resultiert der Piezoaktor in Vielschichtbauweise, wobei die einzelnen Keramiksichten im Wesentlichen homogen sind. Der gesamte Piezoaktor ist dagegen inhomogen. Im Volumen des Piezoaktors sind die Innenelektroden aus der Silber-Palladium-Legierung angeordnet. Es gibt zumindest eine

erste Phase aus Bleizirkonattitanat und eine weitere Phase mit der Silber-Palladium-Legierung. Die einzelnen Phasen bilden jeweils eine chemische und physikalische Einheit. Beide Phasen sind nicht homogen über den gesamten Piezoaktor verteilt.

Allgemein ist eine Wahrscheinlichkeit für das Auftreten einer mechanischen Spannung in einem inhomogenen keramischen Körper relativ groß. Beispielsweise kommt es bei dem beschriebenen Piezoaktor an einer zwischen den unterschiedlichen Phasen vorhandenen Phasengrenze bei einer Polung oder im Betrieb des Piezoaktors zu mechanischen Spannungen, die in der Folge zu einem Mikroriss oder zu einer Ausbreitung eines bereits vorhandenen Mikrorisses und damit zu einem Ausfall des Piezoaktors führen können. Unterschiedliche Phasen, die ungleichmäßig über den inhomogenen keramischen Körper verteilt sind, können von unterschiedlichem keramischen Material oder von Einschlüssen gebildet werden. Denkbar ist auch, dass die Phasen aus keramischem Material gleicher Zusammensetzung aber jeweils unterschiedlicher Gefügestruktur bestehen.

Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, aufzuzeigen, wie ein im Wesentlichen homogener keramischer Körper bereitgestellt werden kann.

Zur Lösung der Aufgabe wird ein keramischer Körper mit mindestens einer im Wesentlichen homogenen Keramiksicht angegeben. Der keramische Körper ist dadurch gekennzeichnet, dass die Keramiksicht eine Vielzahl von übereinander angeordneten homogenen Keramikteilschichten aufweist.

Zur Lösung der Aufgabe wird zudem ein Verfahren zum Herstellen des keramischen Körpers angegeben. Das Verfahren ist durch folgende Verfahrensschritte gekennzeichnet: a) Übereinander Anordnen der homogenen Keramikteilschichten zu

einem Stapel und b) Verfestigen des Stapels, wobei der keramische Körper mit der Keramiksicht gebildet wird.

Die grundlegende Idee besteht darin, den Keramikkörper beziehungsweise eine Keramiksicht des Keramikkörpers aus einer Vielzahl von homogenen Keramikteilschichten aufzubauen und so zu einem Keramikkörper mit einer homogenen Keramiksicht zu kommen. Die Keramikteilschichten können dabei gleiche oder unterschiedliche Teilschichtdicken aufweisen. Eine homogene Keramikteilschicht besteht beispielsweise aus einer einzigen Phase. Die Phase wird beispielsweise von einem einzigen keramischen Material gebildet, dessen Zusammensetzung ortsunabhängig. Dies bedeutet, dass kein Sprung und auch nahezu kein Gradient in der Zusammensetzung des keramischen Material in der Keramikteilschicht vorhanden ist. Denkbar ist aber auch, dass mehrere Phasen vorliegen. Beispielsweise besteht die Keramiksicht aus verschiedenen keramischen Materialien. Die keramischen Materialien sind über die gesamte Keramikteilschicht gleichmäßig verteilt. Es tritt keine Konzentrierung eines der keramischen Materialien auf. Darüber hinaus können auch keramische und nicht-keramische Phasen vorliegen. Diese nicht-keramische Phase ist beispielsweise ein organischer Binder einer Grünkeramik.

Die homogenen Keramikteilschichten sind derart übereinander angeordnet, dass die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten einer Fremdphase zwischen den Keramikteilschichten reduziert ist. Die Keramiksicht, die aus den homogenen Keramikteilschichten besteht, ist somit ebenfalls homogen. Die Keramikteilschichten können dabei durchaus voneinander abweichende Zusammensetzungen aufweisen. Beispielsweise sind alle Keramikteilschichten der Keramiksicht aus Bleizirkonattitanat. Die Keramikteilschichten können sich aber durch die Dotierung des Bleizirkonattitanats (Art und Anteil der Dotierung) von einander unterscheiden. So lässt sich beispielsweise ein Dotierungsgradient in der

Keramikschicht realisieren. Unbeeinflusst davon bleibt aber die Homogenität der Keramikschicht. Die gesamte Keramikschicht besteht aus Bleizirkonattitanat. Durch die Dotierungen wird das Kristallsystem des Bleizirkonattitanats nahezu nicht verändert.

Zum Herstellen des keramischen Körpers mit der homogenen Keramikschicht werden die homogenen Keramikteilschichten direkt übereinander angeordnet. Zwischen den Keramikteilschichten treten im Wesentlichen keine bleibenden Fremdphasen auf. Eine bleibende Fremdphase würde beispielsweise zwischen den Keramikteilschichten angeordnetes Elektrodenmaterial bilden, das durch das nachfolgende Verfestigen des Stapsels nicht entfernt wird. Eine nicht-bleibende Fremdphase ist beispielsweise Luft, die beim Verfestigen des Stapsels entfernt wird. Durch das Verfestigen des Stapsels entsteht der keramische Körper mit der im Wesentlichen homogenen Keramikschicht.

Die homogene Keramikschicht zeichnet sich beispielsweise durch eine gleichmäßige Gefügestruktur aus. Dies führt zu einer Verbesserung bestimmter Eigenschaften des keramischen Körpers im Vergleich zu einem keramischen Körper mit einer inhomogenen Keramikschicht. Beispielsweise ist der keramische Körper ein piezoelektrischer Transformator. Eine geringe Anzahl an Poren, Einschlüssen, Fremdphasen oder anderen Defekten in der Keramikschicht führt bei dem piezoelektrischen Transformator beispielsweise zu einer relativ hohen Piezoaktivität. Zudem wird ein homogener Polungszustand realisiert, der zu einer gleichmäßigen mechanischen Belastung im Betrieb des Transformators führt. Es resultiert eine hohe Lebensdauer und eine hohe Zuverlässigkeit des Transformators.

In einer besonderen Ausgestaltung weist die Keramikteilschicht ein aus der Gruppe Grünkeramik und/oder Sinterkeramik ausgewähltes keramisches Material auf.

Sinterkeramik ist eine zumindest teilweise verdichtete Keramik. Grünkeramik ist eine noch nicht verdichtete Keramik. Der keramische Körper kann als gesinterter keramischer Körper oder auch als Grünteil (nicht gesinterter keramischer Körper) vorliegen. Aus dem keramischen Körper in Form eines Grünteils wird ein gesinterter keramischer Körper hergestellt. Beispielsweise werden als homogene Keramikteilschichten zum Herstellen des keramischen Körpers in Form eines Grünteils keramische Grünfolien mit einer Grünkeramik verwendet. Diese keramischen Grünfolien bestehen beispielsweise aus pulverförmigem keramischen Material und einem organischen Binder. Die Grünfolien bestehen aus homogen verteilt keramischen und nicht-keramischen Material. Zum Herstellen der keramischen Grünfolien werden Standardverfahren wie Schlickerguss oder Foliengießen angewandt. Das pulverförmige keramische Material besteht beispielsweise aus kalzinierter Keramik.

Durch nachfolgendes Laminieren und Sintern des Stapels aus den Grünfolien entsteht der keramische Körper mit der homogenen Keramikschicht aus gesinterten homogenen Keramikteilschichten. Die Keramikteilschichten bestehen aus der Sinterkeramik.

In einer besonderen Ausgestaltung weist zumindest eine der Keramikteilschichten eine aus dem Bereich von einschließlich 5 µm bis einschließlich 250 µm ausgewählte Teilschichtdicke auf. Die Keramikteilschichten in Form von keramischen Grünfolien verfügen bei den angegebenen Teilschichtdicken über sehr feine pulverförmige keramische Materialien. Diese sehr feinen pulverförmigen keramischen Materialien führen zu einer verbesserten chemischen Homogenität der Grünfolie, einer höheren Sinteraktivität und damit zu einer bei tieferen Temperaturen stattfindenden Verdichtung der keramischen Materialien. Die Sintertemperatur ist relativ niedrig. Beim Herstellverfahren der keramischen Grünfolien mit den feinen Ausgangspulvern ist dabei eine sehr gute Entgasbarkeit und

Filtrierbarkeit eines für die Herstellung der keramischen Grünfolien benötigten Schlickers erreichbar. Es resultiert eine geringere Wahrscheinlichkeit für Defekte in dem herzustellenden keramischen Körper. Eine Korngrößenverteilung (Gefügestruktur) innerhalb einer aus einer keramischen Grünfolie hergestellten Keramikteilschicht ist gleichmäßig. Die aus den Keramikteilschichten bestehende Keramiksicht zeichnet sich ebenfalls durch diese gleichmäßige Korngrößenverteilung aus.

Das Verfestigen des Stapels aus den Grünfolien erfolgt beispielsweise durch Laminieren. Das Laminieren umfasst beispielsweise ein uniaxiales oder isostatisches Verpressen der keramischen Grünfolien des Stapels.

Das Verfestigen des Stapels umfasst insbesondere eine Wärmebehandlung des Stapels. Die Wärmebehandlung ist beispielsweise ein Entbindern der Grüneramik. Insbesondere beinhaltet die Wärmebehandlung ein Sintern des Stapels.

In einer besonderen Ausgestaltung werden so viele keramische Grünfolien übereinander gestapelt, dass ein keramischer Körper mit einer Keramiksicht entsteht, die eine aus dem Bereich von einschließlich 10 µm bis einschließlich 5 mm ausgewählte Gesamtschichtdicke aufweist. In Abhängigkeit von einer Anzahl von verwendeten Keramikteilschichten und deren Teilschichtdicken ist ein Keramikkörper mit einer sehr dünnen homogenen Keramiksicht zugänglich. Insbesondere kann der Keramikkörper aber auch eine sehr dicke, homogene Keramiksicht aufweisen. Es resultiert ein keramischer Volumenkörper mit einer relativ dicken homogenen Keramiksicht. Diese dicke homogene Keramiksicht weist insbesondere eine Gesamtschichtdicke von über 400 µm auf. Im Vergleich zur Keramiksicht eines mit einem herkömmlichen Verfahren (Pressverfahren, Blocksinterung) hergestellten keramischen Volumenkörpers zeichnet sich aber die

Keramikschicht aus den Keramikteilschichten durch eine deutlich höhere Homogenität aus.

In einer weiteren Ausgestaltung ist an mindestens einem Oberflächenabschnitt der Keramikschicht mindestens eine Elektrodenschicht angeordnet. Vorzugsweise ist an mindestens einem weiteren Oberflächenabschnitt der Keramikschicht mindestens eine weitere Elektrodenschicht derart angeordnet, dass die Elektrodenschichten einander gegenüber liegend und die Keramikschicht zwischen den Elektrodenschichten angeordnet sind. Ein derartiger keramischer Körper ist beispielsweise ein Kondensator.

In einer weiteren Ausgestaltung ist mindestens eine der Elektrodenschichten zwischen der Keramikschicht und mindestens einer weiteren Keramikschicht angeordnet. Die Keramikschicht ist im Wesentlichen durch die weitere Keramikschicht abgedeckt. Die Elektrodenschicht ist durch die weitere Keramikschicht vergraben. Bei einem piezoelektrischen Bauteil ist die weitere Keramikschicht beispielsweise so ausgestaltet, dass eine elektrische und/oder mechanische Eigenschaft des Bauteils nicht oder nur kaum beeinflusst wird. Leistungsdaten des Bauteils bleiben erhalten. Die weitere Keramikschicht ist beispielsweise sehr dünn. Die weitere Keramikschicht kann dabei auch als sogenannte Pufferschicht fungieren. Dies ist beispielsweise dann vorteilhaft, wenn der keramische Körper in einer gegenüber dem Elektrodenmaterial der Elektrodenschicht reaktiven Atmosphäre eingesetzt wird. Beispielsweise wird der keramische Körper in einer Umgebung mit hoher Luftfeuchtigkeit eingesetzt. Als Folge davon könnten Migrationseffekte des Elektrodenmaterials, beispielsweise Silber-Migration, und elektrochemische Diffusionsprozesse auftreten. Eine erhöhte elektrische Leitfähigkeit des keramischen Körpers könnte daraus resultieren. Überschläge und Kurzschlüsse wären die Folge. Es ist insbesondere vorteilhaft, wenn die weitere Keramikschicht beim Sintern

gegenüber dem keramischen Material der Keramiksicht und Keramikteilschichten und gegenüber einer Sinterumgebung reaktionsträge ist.

Zur elektrischen Kontaktierung der Elektrodenschicht und der weiteren Elektrodenschicht bieten sich verschiedene Varianten an. Beispielsweise sind die Elektrodenschichten an voneinander getrennte, seitliche Oberflächenabschnitte des keramischen Körpers geführt. Zur elektrischen Kontaktierung der Elektrodenschichten wird an den Oberflächenabschnitten jeweils eine Außenmetallisierung angebracht. Das Anbringen der Außenmetallisierungen erfolgt beispielsweise in Dickschichttechnik oder durch Sputtern. Alternativ dazu kann zur elektrischen Kontaktierung in der die Elektrodenschicht abdeckenden weiteren Keramiksicht eine elektrische Durchkontaktierung (Via) vorgesehen sein. Die elektrische Durchkontaktierung ist ein mit elektrisch leitendem Material befülltes Durchgangsloch (Bohrung) in der weiteren Keramiksicht. Denkbar ist auch, dass die weitere Keramiksicht die darunter liegende Elektrodenschicht nicht ganz, sondern nur zum Teil abdeckt. Dadurch verbleibt ein frei zugänglicher Kontaktierungsbereich der Elektrodenschicht.

Das keramische Material ist beispielsweise ein Perowskit. Insbesondere ist das keramische Material eine Piezokeramik. Vorzugsweise ist die Piezokeramik ein Bleizirkonattitanat. In der Kombination des keramischen Körpers mit dem keramischen Material aus Bleizirkonattitanat zeichnet sich die Erfindung durch folgende besonderen Vorteile aus: Durch die Verwendung von dünnen keramischen Grünfolien mit dem pulverförmigen keramischen Material kann die Sintertemperatur unter 1.300° C gesenkt werden. Dies beinhaltet den Vorteil, dass bestimmte, während des Sinterns flüchtige Komponenten des Bleizirkonattitanats wie Bleioxid (PbO) oder Manganoxid (MnO) nicht in einer Stärke abdampfen, wie es bei dem vergleichbaren Blocksintern bei höheren Sintertemperaturen

aufreten würde. Zudem tritt bei niedrigeren Sintertemperaturen eine schädliche Reaktion mit einem Sinterhilfsmittel (beispielsweise eine Unterlegplatte oder einer Kapsel) nur in einem geringen Maß auf. Eine Oberflächenschicht des Keramikkörpers oder der Keramikschicht, die mit dem Sintermittel während des Sinterns mit in Kontakt steht, bleibt weitgehend homogen. Die Oberflächenschicht wird nicht, wie beim Blocksintern bei erhöhten Temperaturen üblich, bis in eine Tiefe von 1 mm bis 3 mm zerstört. Nach dem Herstellen des keramischen Körpers muss die Oberflächenschicht nicht durch Schleifen, Sägen oder ähnliches abgetragen werden.

Besonders vorteilhaft im Zusammenhang mit Bleizirkonattitanat sind die Elektrodenschicht und die weitere Keramikschicht. Jede dieser Schichten kann als Diffusionssperre für die genannten flüchtigen Bestandteile des Bleizirkonattitanats fungieren. Umgekehrt kann durch diese Schichten auch ein Eindiffundieren unerwünschter Fremdatome aus der Umgebung unterbunden werden. Eine Zusammensetzung des Bleizirkonattitanats mit einem bestimmten Sauerstoffanteil oder einem bestimmten Anteil eines Dotierstoffs ändert sich nicht. Vorteilhaft steht während des Sinterns der keramische Körper über eine reaktionsträge weitere Keramikschicht mit den Sinterhilfsmitteln in Kontakt.

Insbesondere ist der keramische Körper aus der Gruppe piezoelektrischer Transformatoren oder piezoelektrischer Biegewandler ausgewählt. Denkbar ist aber auch jedes andere keramische Bauteil, bei dem eine Keramikschicht mit einer entsprechenden Dicke hergestellt werden soll. Durch die Anwendung der Vielschichttechnik ist es möglich, den keramischen Körper mit einer homogenen Keramikschicht herzustellen.

Zusammenfassend ergeben sich mit der Erfindung folgende wesentlichen Vorteile:

- Es ist ein keramischer Körper mit einer im Wesentlichen homogenen Keramiksicht mit einer geringen Anzahl an Poren, Einschlüssen, Fremdphasen und anderen Defekten zugänglich. Die Keramiksicht verfügt über eine hohe Homogenität und gleichmäßige Gefügestruktur.
- Die hohe Homogenität und gleichmäßige Gefügestruktur führt zu einer verminderten Wahrscheinlichkeit für das Auftreten von Mikro- und Makrorissen bei einer mechanischen oder thermischen Belastung des keramischen Körpers. Ein Wachstum vorhandener Risse wird unterdrückt. Es resultieren eine lange Lebensdauer und hohe Zuverlässigkeit des keramischen Körpers.
- Beim Herstellen der Keramiksicht aus keramischen Grünfolien findet ein Verdichten bei einer relativ niedrigen Sintertemperatur statt. Eine niedrige Sintertemperatur führt zu einer gleichmäßigen Gefügestruktur. Die gleichmäßige Gefügestruktur tritt insbesondere auch in einem Randbereich (Oberflächenschicht) der Keramiksichten auf.

Anhand mehrerer Ausführungsbeispiele und der dazugehörigen Figuren wird die Erfindung im Folgenden näher erläutert. Die Figuren sind schematisch und stellen keine maßstabsgetreuen Abbildungen dar.

Figur 1 zeigt einen Ausschnitt eines Ausführungsbeispiels des keramischen Körpers in Form eines Transformators.

Figur 2 zeigt einen Ausschnitt eines Ausführungsbeispiels des keramischen Körpers in Form eines Biegewandlers.

Figuren 3A bis 3C zeigen verschiedene elektrische Kontaktierungsmöglichkeiten einer vergrabenen Elektrodenschicht des keramischen Körpers.

Figur 4 zeigt ein Verfahren zum Herstellen des keramischen Körpers.

Ausführungsbeispiel 1:

Der keramische Körper 1 ist ein piezoelektrischer Transformator 11 (Figur 1). Der piezoelektrische Transformator 11 besteht aus einer im Wesentlichen homogenen Keramikschicht 2, die an zwei gegenüber liegenden Oberflächenabschnitten 7 und 9 jeweils eine Elektrodenschicht 8 und 10 aufweist. Die homogene Keramikschicht 2 besteht aus einer Vielzahl von übereinander angeordneten homogenen Keramikteilschichten 3. Die Keramikteilschichten 3 und damit die gesamte Keramikschicht 2 bestehen aus keramischem Material 6 in Form von Sinterkeramik. Der piezoelektrische Transformator 11 ist ein gesinterter keramischer Körper 1. Das keramische Material 6 ist Bleizirkonattitanat.

Jede der Keramikteilschichten 3 verfügt über eine Teilschichtdicke 4 von etwa 20 µm. Übereinander sind 20 derartige Keramikteilschichten angeordnet. Der piezoelektrische Transformator 11 verfügt über eine homogene Keramikschicht 2 mit einer Gesamtschichtdicke 5 von etwa 500 µm.

Ausführungsbeispiel 2:

Gemäß einem weiteren, nicht dargestellten Ausführungsbeispiel des Transformators 11 sind die Elektrodenschichten 8 und 10 entsprechend der Elektrodenschichten 8 und 10 des Biegewandlers 12 des zweiten Ausführungsbeispiels (vgl. Figur 2) unter weiteren Keramikschichten 13 vergraben.

**Ausführungsbeispiel 3:**

Der keramische Körper 1 ist ein piezoelektrischer Biegelwandler 12 (Figur 2). Im Vergleich zum vorher beschriebenen Transistor besteht die homogene Keramikschicht des Biegelwandlers aus fünf homogenen Keramikteilschichten mit Teilschichtdicken von etwa 20 µm. Zur Maximierung der Auslenkung sind die Elektrodenschichten 8 und 10 bis an einen Rand der homogenen Keramikschicht 2 und damit an einen seitlichen Oberflächenabschnitt 17 des piezokeramischen Biegelwandlers 12 geführt.

Die Elektrodenschichten 8 und 10 sind großflächig von jeweils einer weiteren Keramikschicht 13 abgedeckt. Die Schichtdicke der weiteren Keramikschichten 13 beträgt etwa 10 µm. Die Elektrodenschichten 8 und 10 sind unter den weiteren Keramikschichten 13 vergraben. Dadurch kann der piezoelektrische Biegelandler 12 auch in einer feuchten, gegenüber dem Elektrodenmaterial der Elektrodenschichten 8 und 10 reaktiven Umgebung mit einer hohen Langzeitstabilität eingesetzt werden.

**Ausführungsbeispiel 4:**

Gemäß einem weiteren, nicht dargestellten Ausführungsbeispiel des Biegelwandlers 12 sind die Elektrodenschichten 8 und 10 entsprechend der Elektrodenschichten 8 und 10 des Transistors 11 des ersten Ausführungsbeispiels nicht durch weitere Elektrodenschichten abgedeckt und frei zugänglich (vgl. Figur 1).

Zur elektrischen Kontaktierung der unter der weiteren Keramikschicht 13 verborgenen Elektrodenschicht 8 oder 10 ist gemäß einer ersten Ausführungsform an dem seitlichen Oberflächenabschnitt 17 des Transistors 11 beziehungsweise des Biegelwandlers 12 eine Außenmetallisierung 14 durch Sputtern angebracht (Figur 3A). In einer zweiten

Ausführungsform erfolgt die elektrische Kontaktierung mit Hilfe einer elektrischen Durchkontaktierung 15 (Figur 3B). Gemäß einer dritten Ausführungsform erfolgt die elektrische Kontaktierung über einen frei zugänglichen, nicht durch die weitere Keramikschicht 13 abgedeckten freien Kontaktierungsbereich 16 der jeweiligen Elektrodenschicht 8 und 10 (Figur 3C).

Zum Herstellen des piezoelektrischen Transformators beziehungsweise des piezoelektrischen Biegewandlers werden als Ausgangspunkt homogene Keramikteilschichten in Form keramischer Grünfolien mit einer Grünerkeramik verwendet. Die keramischen Grünfolien werden übereinander zu einem Stapel angeordnet (18, Figur 4). Dazu wird eine Matrize verwendet, um ein genaues Übereinanderstapeln der keramischen Grünfolien zu ermöglichen. Nachfolgend wird der Stapel verfestigt (19, Figur 4). Dies erfolgt unter einachsigem Verpressen des Staps (Laminieren). In einer alternativen Ausgestaltung erfolgt die Verfestigung durch das Anwenden von isostatischem Druck. Nach dem Laminieren wird der Stapel einer Wärmebehandlung unterzogen. Die Wärmebehandlung umfasst dabei ein Entbindern und ein nachfolgendes Sintern.

**Patentansprüche**

1. Keramischer Körper (1) mit mindestens einer im Wesentlichen homogenen Keramikschicht (2), dadurch gekennzeichnet, dass die Keramikschicht (2) eine Vielzahl von übereinander angeordneten homogenen Keramikteilschichten (3) aufweist.
2. Keramischer Körper nach Anspruch 1, bei dem die Keramikteilschichten (3) ein aus der Gruppe Grünkeramik und/oder Sinterkeramik ausgewähltes keramisches Material (6) aufweisen.
3. Keramischer Körper nach Anspruch 1 oder 2, bei dem zumindest eine der Keramikteilschichten (3) eine aus dem Bereich von einschließlich 5 µm bis einschließlich 250 µm ausgewählte Teilschichtdicke (4) aufweist.
4. Keramischer Körper nach einem der Ansprüche 1 bis 3, bei dem die Keramikschicht (2) eine aus dem Bereich von einschließlich 10 µm bis einschließlich 5 mm ausgewählte Gesamtschichtdicke (5) aufweist.
5. Keramischer Körper nach einem der Ansprüche 1 bis 4, bei dem an mindestens einem Oberflächenabschnitt (7) der Keramikschicht (2) mindestens eine Elektrodenschicht (8) angeordnet ist.
6. Keramischer Körper nach Anspruch 5, bei dem an mindestens einem weiteren Oberflächenabschnitt (9) der Keramikschicht (2) mindestens eine weitere Elektrodenschicht (10) derart angeordnet ist, dass die Elektrodenschichten (8, 10) einander gegenüber liegend und die Keramikschicht (2) zwischen den Elektrodenschichten (8, 10) angeordnet sind.

15

7. Keramischer Körper nach Anspruch 5 oder 6, bei dem mindestens eine der Elektrodenschichten (8, 10) zwischen der Keramikschicht (2) und mindestens einer weiteren Keramikschicht (13) angeordnet ist.
8. Keramischer Körper nach einem der Ansprüche 2 bis 7, bei dem das keramische Material (6) eine Piezokeramik aufweist.
9. Keramischer Körper nach Anspruch 8, bei dem die Piezokeramik (6) ein Bleizirkonattitanat ist.
10. Keramischer Körper nach einem der Ansprüche 1 bis 9, wobei der Körper (1) aus der Gruppe piezoelektrischer Transformator (11) oder piezoelektrischer Biegewandler (12) ausgewählt ist.
11. Verfahren zum Herstellen eines keramischen Körpers nach einem der Ansprüche 1 bis 10, gekennzeichnet durch folgende Verfahrensschritte:
  - a) Übereinander Anordnen der homogenen Keramikteilschichten zu einem Stapel und
  - b) Verfestigen des Stapels, wobei der keramische Körper mit der Keramikschicht gebildet wird.
12. Verfahren nach Anspruch 11, wobei als homogene Keramikteilschichten keramische Grünfolien mit einer Grünkeramik verwendet werden.
13. Verfahren nach Anspruch 11 oder 12, wobei das Verfestigen des Stapels ein Laminieren umfasst.
14. Verfahren nach einem der Ansprüche 11 bis 13, wobei das Verfestigen des Stapels eine Wärmebehandlung des Stapels umfasst.

1/2

FIG 1

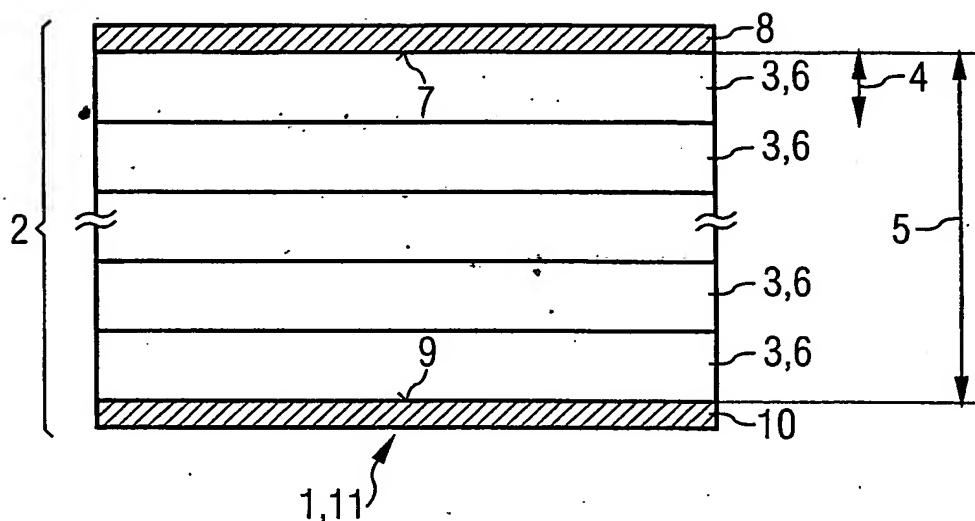
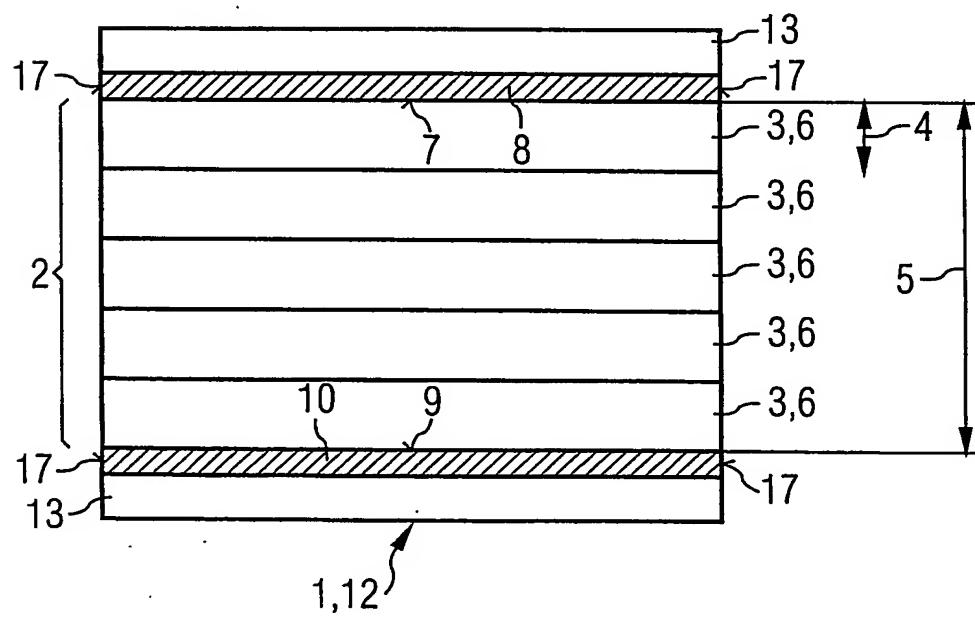


FIG 2



2/2

FIG 3A

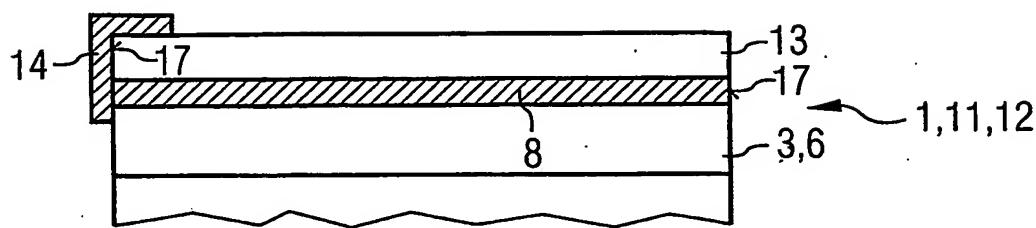


FIG 3B

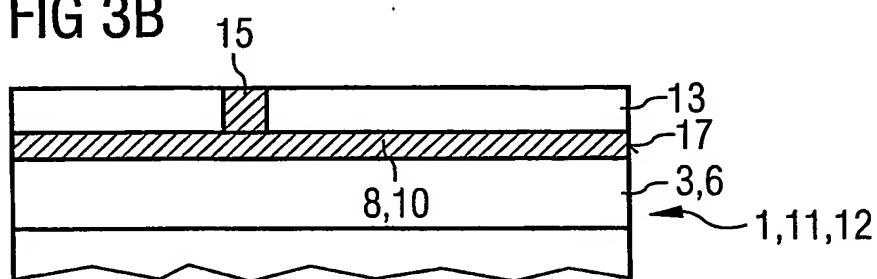


FIG 3C

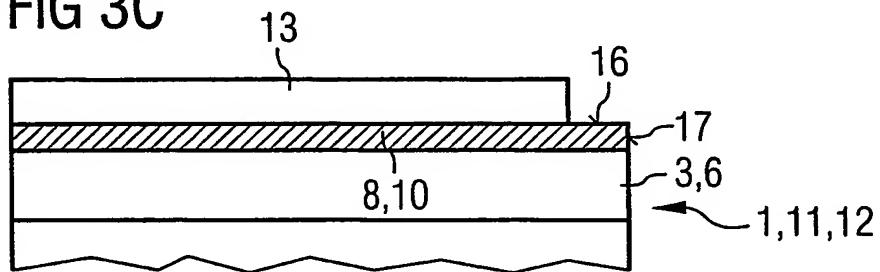


FIG 4

Übereinander Anordnen homogener Keramikteilschichten zu einem Stapel

18

Verfestigen des Stapels

19

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/NL 03/02776

**A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**  
 IPC 7 H01L41/24 C04B35/491

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

**B. FIELDS SEARCHED**

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)  
 IPC 7 H01L C04B B32B

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

PAJ, EPO-Internal, WPI Data

**C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT**

Category	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 012, no. 320 (E-651), 30 August 1988 (1988-08-30) -& JP 63 084175 A (TOYOTA MOTOR CORP), 14 April 1988 (1988-04-14) abstract page 360, left-hand column, paragraph 4; figures 1B,2 ---	1-9, 11-14
Y	page 360, left-hand column, paragraph 4; figures 1B,2 ---	10
X	EP 0 426 466 A (SAKAI CHEMICAL INDUSTRY CO) 8 May 1991 (1991-05-08) page 2, line 14-23 page 3, line 52 -page 4, line 27 page 6, line 29 -page 7, line 12 ---	1-6,8-14
Y	page 3, line 52 -page 4, line 27 page 6, line 29 -page 7, line 12 ---	10
		-/-

Further documents are listed in the continuation of box C.

Patent family members are listed in annex.

\* Special categories of cited documents :

- \*A\* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- \*E\* earlier document but published on or after the international filing date
- \*L\* document which may throw doubts on priority, claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- \*O\* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- \*P\* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- \*T\* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- \*X\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- \*Y\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- \*&\* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the International search

17 February 2004

Date of mailing of the international search report

24/02/2004

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Meul, H

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No  
PCT/JP 03/02776

## C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 6 395 117 B1 (TAKEUCHI YUKIHISA ET AL) 28 May 2002 (2002-05-28) column 2, line 54 -column 3, line 39 column 7, line 37 -column 8, line 37 column 9, line 37-42 column 10, line 52-62 ---	1,2,8,9, 11-14
X	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 006, no. 200 (E-135), 9 October 1982 (1982-10-09) -& JP 57 107086 A (MATSUSHITA ELECTRIC IND CO LTD), 3 July 1982 (1982-07-03). abstract ---	1,2,8,9, 11-14
X	EP 0 813 254 A (NGK INSULATORS LTD) 17 December 1997 (1997-12-17) figure 4; example 9 ---	1-4, 11-14
X	US 5 089 070 A (MCANDREW THOMAS P) 18 February 1992 (1992-02-18) claims 1-11 ---	1,2,8, 11-14
X	EP 0 736 915 A (SEIKO EPSON CORP) 9 October 1996 (1996-10-09)  page 2, line 7-46 claims 6-8 -----	1,2,4-6, 8,9,11, 13,14

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PCT/03/02776

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)		Publication date
JP 63084175	A	14-04-1988	NONE		
EP 0426466	A	08-05-1991	JP 2518703 B2		31-07-1996
			JP 3148186 A		24-06-1991
			DE 69022535 D1		26-10-1995
			DE 69022535 T2		21-03-1996
			EP 0426466 A1		08-05-1991
			US 5507898 A		16-04-1996
US 6395117	B1	28-05-2002	US 6051171 A		18-04-2000
			DE 69903297 D1		07-11-2002
			DE 69903297 T2		11-09-2003
			EP 1088802 A1		04-04-2001
			JP 2001106579 A		17-04-2001
			DE 69516479 D1		31-05-2000
			DE 69516479 T2		30-11-2000
			EP 0708068 A1		24-04-1996
			JP 3274330 B2		15-04-2002
			JP 9118568 A		06-05-1997
			US 5753160 A		19-05-1998
			DE 69814592 D1		18-06-2003
			EP 0959056 A1		24-11-1999
			JP 11322446 A		24-11-1999
JP 57107086	A	03-07-1982	NONE		
EP 0813254	A	17-12-1997	CN 1176499 A ,B		18-03-1998
			DE 69707359 D1		22-11-2001
			DE 69707359 T2		27-06-2002
			EP 0813254 A1		17-12-1997
			JP 10117024 A		06-05-1998
			US 6045642 A		04-04-2000
US 5089070	A	18-02-1992	NONE		
EP 0736915	A	09-10-1996	EP 0736915 A1		09-10-1996
			JP 3487068 B2		13-01-2004
			JP 9223831 A		26-08-1997
			US 6140746 A		31-10-2000

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/03/02776

A. KLASIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES  
IPK 7 H01L41/24 C04B35/491

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

## B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierte Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)  
IPK 7 H01L C04B B32B

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der Internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

PAJ, EPO-Internal, WPI Data

## C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie <sup>a</sup>	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 012, no. 320 (E-651), 30. August 1988 (1988-08-30) -& JP 63 084175 A (TOYOTA MOTOR CORP), 14. April 1988 (1988-04-14) Zusammenfassung Seite 360, linke Spalte, Absatz 4; Abbildungen 1B,2	1-9, 11-14
Y	EP 0 426 466 A (SAKAI CHEMICAL INDUSTRY CO) 8. Mai 1991 (1991-05-08) Seite 2, Zeile 14-23 Seite 3, Zeile 52 -Seite 4, Zeile 27 Seite 6, Zeile 29 -Seite 7, Zeile 12	10
X	EP 0 426 466 A (SAKAI CHEMICAL INDUSTRY CO) 8. Mai 1991 (1991-05-08) Seite 2, Zeile 14-23 Seite 3, Zeile 52 -Seite 4, Zeile 27 Seite 6, Zeile 29 -Seite 7, Zeile 12	1-6,8-14
Y		10
		-/-

Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen

Siehe Anhang Patentfamilie

- \* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :
- \*A\* Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist
- \*E\* älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem Internationalen Anmeldeatum veröffentlicht worden ist
- \*L\* Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)
- \*O\* Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht
- \*P\* Veröffentlichung, die vor dem Internationalen Anmeldeatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsatum veröffentlicht worden ist

- \*T\* Spätere Veröffentlichung, die nach dem Internationalen Anmeldeatum oder dem Prioritätsatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist
- \*X\* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden
- \*Y\* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist
- \*&\* Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der Internationalen Recherche

Absendedatum des Internationalen Recherchenberichts

17. Februar 2004

24/02/2004

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde  
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Meul, H

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/AE 03/02776

## C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie°	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	US 6 395 117 B1 (TAKEUCHI YUKIHISA ET AL) 28. Mai 2002 (2002-05-28) Spalte 2, Zeile 54 -Spalte 3, Zeile 39 Spalte 7, Zeile 37 -Spalte 8, Zeile 37 Spalte 9, Zeile 37-42 Spalte 10, Zeile 52-62 ----	1,2,8,9, 11-14
X	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 006, no. 200 (E-135), 9. Oktober 1982 (1982-10-09) -& JP 57 107086 A (MATSUSHITA ELECTRIC IND CO LTD), 3. Juli 1982 (1982-07-03) Zusammenfassung ----	1,2,8,9, 11-14
X	EP 0 813 254 A (NGK INSULATORS LTD) 17. Dezember 1997 (1997-12-17) Abbildung 4; Beispiel 9 ----	1-4, 11-14
X	US 5 089 070 A (MCANDREW THOMAS P) 18. Februar 1992 (1992-02-18) Ansprüche 1-11 ----	1,2,8, 11-14
X	EP 0 736 915 A (SEIKO EPSON CORP) 9. Oktober 1996 (1996-10-09)  Seite 2, Zeile 7-46 Ansprüche 6-8 -----	1,2,4-6, 8,9,11, 13,14

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/DE 03/02776

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie		Datum der Veröffentlichung
JP 63084175	A	14-04-1988	KEINE		
EP 0426466	A	08-05-1991	JP 2518703 B2		31-07-1996
			JP 3148186 A		24-06-1991
			DE 69022535 D1		26-10-1995
			DE 69022535 T2		21-03-1996
			EP 0426466 A1		08-05-1991
			US 5507898 A		16-04-1996
US 6395117	B1	28-05-2002	US 6051171 A		18-04-2000
			DE 69903297 D1		07-11-2002
			DE 69903297 T2		11-09-2003
			EP 1088802 A1		04-04-2001
			JP 2001106579 A		17-04-2001
			DE 69516479 D1		31-05-2000
			DE 69516479 T2		30-11-2000
			EP 0708068 A1		24-04-1996
			JP 3274330 B2		15-04-2002
			JP 9118568 A		06-05-1997
			US 5753160 A		19-05-1998
			DE 69814592 D1		18-06-2003
			EP 0959056 A1		24-11-1999
			JP 11322446 A		24-11-1999
JP 57107086	A	03-07-1982	KEINE		
EP 0813254	A	17-12-1997	CN 1176499 A ,B		18-03-1998
			DE 69707359 D1		22-11-2001
			DE 69707359 T2		27-06-2002
			EP 0813254 A1		17-12-1997
			JP 10117024 A		06-05-1998
			US 6045642 A		04-04-2000
US 5089070	A	18-02-1992	KEINE		
EP 0736915	A	09-10-1996	EP 0736915 A1		09-10-1996
			JP 3487068 B2		13-01-2004
			JP 9223831 A		26-08-1997
			US 6140746 A		31-10-2000